

**Method of controlling the direction of a drill bit in a borehole**

Patent Number: ☐ US4733733  
Publication date: 1988-03-29  
Inventor(s): BRADLEY WILLIAM B (US); FONTENOT JOHN E (US)  
Applicant(s): NL INDUSTRIES INC (US)  
Requested Patent: ☐ DE3704077  
Application Number: US19860828392 19860211  
Priority Number(s): US19860828392 19860211  
IPC Classification: E21B7/04  
EC Classification: E21B7/04, E21B44/00, E21B47/022, G09B25/02  
Equivalents: CA1312937, ☐ GB2186715, NO870511

---

**Abstract**

---

A system for controlling the direction of a drill bit in a borehole utilizes both a drill string model and a bit-rock directional interaction model to compare ideal predicted or expected moments with real time measured moments to arrive at correction data necessary to return the bit to its desired path. The magnitude and direction of moments generated near the bit are measured in a downhole equipment sub, containing a microprocessor and memory, so that the real time data can be collected and acted upon without undue delay thereby minimizing drilling time lost due to deviations from the desired path.

---

Data supplied from the esp@cenet database - I2

①⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND

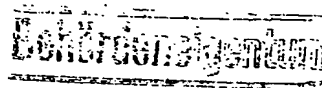


DEUTSCHES  
PATENTAMT

①⑫ **Offenlegungsschrift**  
①① **DE 3704077 A1**

⑤① Int. Cl. 4:  
**E 21 B 44/00**  
G 05 D 3/12

②① Aktenzeichen: P 37 04 077.4  
②② Anmeldetag: 10. 2. 87  
④③ Offenlegungstag: 13. 8. 87



DE 3704077 A1

③⑩ Unionspriorität: ③② ③③ ③①  
11.02.86 US 828392

⑦① Anmelder:  
NL Industries, Inc., New York, N.Y., US

⑦④ Vertreter:  
Strehl, P., Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing.;  
Schübel-Hopf, U., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Groening,  
H., Dipl.-Ing., Pat.-Anw.; Schulz, R., Dipl.-Phys.  
Dr.rer.nat., Pat.- u. Rechtsanwalt., 8000 München

⑦② Erfinder:  
Bradley, William B.; Fontenot, John E., Houston,  
Tex., US

⑤④ **Verfahren und Vorrichtung zum Steuern der gerichteten Bohrung einer Bohrkron**

Verfahren zum Steuern der Richtung einer Bohrkron in einem Bohrloch unter Verwendung sowohl eines Bohrstrangmodells als auch eines Bohrkronengesteinswechselwirkungsmodells, um ideale vorausgesagte oder erwartete Momente mit den echtzeitgemessenen Momenten zu vergleichen und dadurch zu Korrekturdaten zu gelangen, die dazu benötigt werden, die Bohrkron auf ihren gewünschten Weg zurückzuführen. Die Größe und die Richtung der Momente, die in der Nähe der Bohrkron erzeugt werden, werden mit einer unten im Bohrloch befindlichen Anordnung gemessen, die einen Mikroprozessor und einen Speicher enthält, so daß Echtzeitdaten gesammelt und ohne unangemessene Verzögerung verarbeitet werden können, um dadurch Bohrzeitverluste aufgrund von Abweichungen vom gewünschten Weg so gering wie möglich zu halten.

DE 3704077 A1

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Steuern der gerichteten Bohrung einer Bohrkronen am unteren Ende eines Bohrstranges, dadurch gekennzeichnet, daß Biegemomente an einem Teil des Bohrstranges nahe an der Bohrkronen gemessen werden, die Neigung und Ausrichtung der Bohrkronen während der Biegemomentmessungen gemessen werden, die Eindringgeschwindigkeit der Bohrkronen in eine Gesteinsformation gemessen wird, ein Bohrkronengesteinswechselwirkungsmodell entwickelt wird und die gemessenen Momente und Vortriebe mit dem Modell verglichen werden, um Fehlersignale abzuleiten, und die Bohrkronenrichtung auf die Fehlersignale ansprechend gesteuert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Fehlersignal dazu benutzt wird, das Bohrkronengesteinswechselwirkungsmodell umzugestalten.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die während des Bohrvorganges erhaltene Vermessungsinformation dazu benutzt wird, das Bohrkronengesteinswechselwirkungsmodell umzugestalten.
4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Unterschied zwischen den Messungen des Gewichtes an der Bohrkronen an der Oberfläche und unten im Loch dazu benutzt wird, das Bohrkronengesteinswechselwirkungsmodell umzugestalten.
5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Information über die Eigenschaften der Bohrkronen und die angenommenen Eigenschaften des Gesteins dazu benutzt wird, das Bohrkronengesteinswechselwirkungsmodell zu entwickeln.
6. Vorrichtung zum Steuern der gerichteten Bohrung einer Bohrkronen am unteren Ende eines Bohrstranges, gekennzeichnet durch eine Einrichtung zum Messen der Größe und Richtung von Biegemomenten an einem Teil des Bohrstranges nahe an der Bohrkronen, eine Einrichtung zum Messen der Neigung und Ausrichtung der Bohrkronen während der Biegemomentmessungen, eine Einrichtung zum Messen der Eindringgeschwindigkeit der Bohrkronen in eine Gesteinsformation, eine Einrichtung zum Entwickeln eines Bohrkronengesteinswechselwirkungsmodell und zum Vergleichen der gemessenen Momente und Vortriebe mit dem Modell, um ein Fehlersignal zu entwickeln, und eine Einrichtung, die auf das Fehlersignal anspricht, um die Richtung der Bohrkronen zu steuern.
7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung zum Entwickeln eines Bohrkronengesteinswechselwirkungsmodells ein Mikroprozessor und ein Speicher ist, die unten im Bohrloch am Bohrstrang angeordnet sind.
8. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung zum Entwickeln eines Bohrkronengesteinswechselwirkungsmodells eine Information über eine während des Bohrvorganges erhaltene Messung empfängt und diese dazu benutzt, das Bohrkronengesteinswechselwirkungsmodell nach Maßgabe der Formation zu modifizieren, auf die die Bohrkronen gerade trifft.
9. Vorrichtung nach Anspruch 6, gekennzeichnet durch eine Einrichtung zum Vergleichen der tat-

sächlichen Biegemomentmessungen mit Biegemomentmessungen, die von dem Bohrkronengesteinswechselwirkungsmodell abgeleitet werden, und zum Erzeugen eines Fehlersignals, das dazu benutzt wird, das Bohrkronengesteinswechselwirkungsmodell umzugestalten.

10. Vorrichtung nach Anspruch 6, gekennzeichnet durch eine Einrichtung zum Eingeben der Daten über die Eigenschaften der Bohrkronen und die angenommenen Eigenschaften des Gesteins in die Einrichtung zum Entwickeln des Bohrkronengesteinswechselwirkungsmodells.

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Steuern der gerichteten Bohrung einer Bohrkronen am unteren Ende eines Bohrstranges, bei dem insbesondere Biegemomentmessungen nahe an der Bohrkronen dazu verwandt werden, die Richtung der Bohrkronen zu steuern.

Wenn bei der Suche nach Erdöl ein Bohrloch gebohrt wird, ist es notwendig, die Richtung der Bohrkronen zu steuern, um die Zielformation an der richtigen Stelle zu durchstoßen. Es ist im wesentlichen unmöglich, ein gerades Bohrloch mit einem der beiden Standardverfahren, nämlich dadurch, daß der gesamte Bohrstrang über eine Gestängestange und die zugehörige Ausrüstung gedreht wird, oder dadurch zu bohren, daß ein unten im Bohrloch befindlicher Motor die Bohrkronen antreibt. Viele Einflußfaktoren, wie beispielsweise Einflüsse der Schwerkraft, Biegungen der Schwerstangen, das Drehmoment des Bohrvorganges und die Anisotropie der Fels- oder Gesteinsfehler tragen dazu bei, daß Abweichungen in der Richtung der Bohrkronen auftreten.

Eine Möglichkeit der Steuerung der Richtung der Bohrkronen bestand bisher darin, den Bohrvorgang zu beenden und in das Bohrloch ein Instrument abzusenken, um Richtungsmessungen auszuführen. Diese Messungen wurden dann mit einem Nacharbeitsdiagramm zusammengestellt. Es wurde ein Modell für den gewünschten Weg des Bohrloches aufgestellt und die gewünschten Korrekturen erfolgten durch eine Einstellung des Gewichtes an der Bohrkronen, der Drehgeschwindigkeit usw., um die gewünschte Änderung in der Richtung der Bohrkronen zu erzielen. Wenn es sich jedoch herausstellte, daß diese Änderung nicht geeignet sind, die Bohrkronen in die gewünschte Richtung umzu lenken, war es notwendig, den Bohrstrang vom Loch zurückzuziehen und den Aufbau der unten im Bohrloch befindlichen Anordnung des Bohrstranges zu ändern. Es versteht sich, daß ein derartiger Arbeitsvorgang, der den Bohrbetrieb unterbricht, mit Kosten verbunden und zeitraubend ist.

Eine weitere jüngste Entwicklung besteht in einer Meßvorrichtung, die während des Bohrvorganges arbeitet und Richtungsmessungen und Korrekturen erlaubt, ohne den Bohrbetrieb zu unterbrechen. Mit der während des Bohrvorganges arbeitenden Meßvorrichtung muß das Bohrloch jedoch gebohrt und vermessen werden, bevor das Ergebnis bestimmt werden kann. Ein Beispiel eines derartigen Verfahrens, bei dem Dehnungsmessungen unmittelbar neben der Bohrkronen ausgeführt werden, ist in der US-PS 43 24 297 beschrieben. Die Neigung und die Ausrichtung der Bohrkronen werden zusammen mit dem Gewicht an der Bohrkronen gemessen und alle diese Messungen werden zur Oberfläche vorzugsweise mit einem drahtgebundenen elektronischen System mit hoher Datenübertragungsgeschwin-

digkeit übertragen, wo sie mit einem Modell verglichen werden, das aus vorhergehenden Messungen entwickelt wurde, um die Abweichung der Bohrkronen von einem gewünschten Verlauf zu bestimmen. Das Gewicht an der Bohrkronen und die Drehgeschwindigkeit werden dann so gesteuert, daß eine Korrektur erzielt wird, um die Bohrkronen auf den gewünschten Weg zurückzuführen. Obwohl das gegenüber der Unterbrechung des Bohrbetriebes zu Meßzwecken eine Verbesserung darstellt, wie es früher beschrieben wurde, hat dieses Verfahren weiterhin eine Anzahl von Nachteilen. Diese schließen die Datenmenge, die zur Oberfläche übertragen werden muß, wobei nur ein Teil der Daten anschließend benutzt wird, und die Kosten und die Schwierigkeit der Entwicklung eines drahtgebundenen Systems ein.

Gemäß der Erfindung werden ein Sensor in der Nähe der Bohrkronenmechanik und ein Positionsüberwachungssensor eines während des Bohrvorganges messenden Teils einer unten im Bohrloch befindlichen Anordnung dazu benutzt, die Größe von Biegemomenten in zwei zueinander senkrechten Ebenen und die Ausrichtung dieser Momente zu messen, um die Abweichung der Bohrkronen von der gewünschten Bahn anzugeben. Die Größe und die Richtung der Biegemomente zusammen mit der Bohrkroneneindringgeschwindigkeit erlauben im Vergleich mit einem Bohrstrangmodell und einem Bohrkronengesteinswechselwirkungsmodell die Ausführung einer Korrektur, um die Richtung des Bohrloches zu ändern, während es gerade gebohrt wird. Gemäß der Erfindung wird die Echtzeitinformation von Faktoren unten im Bohrloch, die die Bohrkronenrichtung beeinflussen, dazu benutzt, an Informationen heranzukommen, die notwendig sind, die gewünschten Korrekturen auszuführen. Das erfindungsgemäße Verfahren arbeitet nicht nur mit einem Bohrstrangmodell, sondern auch mit einem Bohrkronengesteinswechselwirkungsmodell, wobei alle Daten gesammelt und über einen unten im Bohrloch befindlichen Mikroprozessor berechnet werden, um die Abweichungen und die Korrekturzeit so klein wie möglich zu halten.

Im folgenden wird anhand der zugehörigen Zeichnung ein besonders bevorzugtes Ausführungsbeispiel der Erfindung näher beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Bohrturms zum Bohren eines Bohrloches,

Fig. 2 eine schematische Seitenansicht der unten im Bohrloch befindlichen Anordnung,

Fig. 3 das schematische Blockschaltbild des Steuer- teils gemäß der Erfindung und

Fig. 4 in einem Diagramm die Arbeitsweise gemäß der Erfindung.

Eine Standardbohrvorrichtung, wie sie in Fig. 1 dargestellt ist, umfaßt einen Bohrturm 10 mit einem Bohrgestänge 12, das davon durch ein Bohrloch 14 in einer Formation 16 nach unten verläuft. Am unteren Ende des Bohrgestänges befindet sich eine Bohrlochanordnung 18, die eine Bohrkronen 20, eine Sensorgruppe 22 und einen Datenprozessor und Speicher 24 umfaßt. Die Sensorgruppe 22 weist einen ersten Teil zum Durchführen von Biegemomentmessungen, beispielsweise nicht dargestellte Dehnungsmeßstreifen in wenigstens zwei orthogonalen Ebenen und einen zweiten Teil zum Bestimmen der Ausrichtung dieser Momente, beispielsweise mit gleichfalls nicht dargestellten Magnetometern auf. Wenn die Ausbildung der unteren Bohrlochanordnung und das Biegemoment im Bohrgestänge nahe der Bohrkronen bekannt sind, kann eine Angabe der Kräfte, die

zwischen der Bohrkronen und der Formation wirken, nämlich der Bohrkronengesteinswechselwirkungskräfte, bestimmt werden. Die Biegemomentmessungen liefern zusammen mit den Eindringmessungen eine Echtzeitangabe jeder Änderung in der Richtung des Bohrloches, während dieses laufend gebohrt wird. Diese Anzeige gibt die Möglichkeit der Überwachung und Steuerung der Änderung in der Bohrlochrichtung zwischen statisch bestimmten Vermessungspunkten, die normalerweise dann genommen werden, wenn der Bohrvorgang während des Anschlusses zusätzlicher Rohrstücke an das Bohrgestänge unterbrochen ist.

Normalerweise gibt es viele Biegemomente, die im Verlauf eines Bohrvorganges gemessen werden. Diese Biegemomente sind für viele Dinge, wie beispielsweise die Bohrgestängemechanik, die Bohrgestängeformationswechselwirkung, die Art und den Zustand der Bohrkronen, Einflüsse der Schwerkraft usw. charakteristisch. Die Momente können so gekennzeichnet werden, daß sie einen dynamischen Anteil aufweisen, der einem sich eher langsam ändernden Anteil überlagert ist. Die dynamischen Momente können mit mechanischen Vibrationsstörungen oder einem elektrischen Hintergrundrauschen verglichen werden und durch Filtern vermieden werden. Die sich langsam ändernden Momente, die einen ununterbrochenen Pegel haben können, und die zunehmenden und abnehmenden Momente stehen gewöhnlich mit den Verhältnissen in Beziehung, die dazu führen, daß die Bohrkronen von ihrem gewünschten Verlauf abweicht. In diesem Fall muß eine geeignete Korrektur bewirkt werden, um die Bohrkronen auf den gewünschten Weg zurückzuführen und dadurch sicherzustellen, daß die Zielformation innerhalb von Toleranzgrenzen getroffen wird, und Bohrzeitverschwendungen zu vermeiden.

Zusätzlich zur Überwachung und Steuerung der Bohrkronen kann das erfindungsgemäße Verfahren als Lernmethode zur Modelländerung in der Bohrkronengesteinswechselwirkungscharakteristik mit der Zeit verwandt werden. Das kann dadurch erfolgen, daß die vorausgesagte Änderung im Bohrlochwinkel mit der Echtzeitrichtung, die aus den Biegemomenten abgeleitet wird, und mit den statischen Ergebnissen verglichen wird, die an jedem Vermessungspunkt genommen werden. Der Unterschied zwischen der statischen Anzeige, der vorausgesagten Anzeige und der Echtzeitmessung liefert eine Fehlersignal, das dazu benutzt werden kann, die Abschätzungen der Bohrkronengesteinswechselwirkungscharakteristik des mit einer bestimmten Bohrkronen gebohrten bestimmten Gesteins zu verbessern. Die Verwendung dieses Fehlersignals zum Fortschreiten der Bohrkronengesteinswechselwirkungscharakteristik erlaubt es, Änderungen in den Eigenschaften der Formation und der Bohrkronen während des fortschreitenden Bohrvorganges mit zu berücksichtigen.

Beim normalen Bohrbetrieb, wenn entweder ein unten im Loch befindlicher Motor zum Antreiben der Bohrkronen benutzt wird oder eine Gestängestange und die zugehörige Ausrüstung dazu verwandt wird, das gesamte Bohrgestänge von der Oberfläche aus zu drehen, ist das Bohrgestänge vielen Kräften und Momenten ausgesetzt, die aus der Bohrgestängemechanik, aus der Wechselwirkung zwischen dem Bohrgestänge und der Formation, aus Kräften der Schwerkraft, aus der Art der Bohrkronen und ihrem Verschleiß und ähnlichem resultieren. Diese haben einen Einfluß auf die Bohrkronenrichtung, so daß es möglich ist, die Größe und Richtung der Biegemomente in der Nähe der Bohrkronen auf-

grund dieser Kräfte zu messen und die Messungen zur Bohrkronenrichtungskorrektur zu benutzen. Vorzugsweise werden diese Messungen mit einem Mikroprozessor ausgeführt, der unten im Bohrloch in der nächstgelegenen Anordnung vorgesehen ist, um das Erfordernis einer Datenübertragung mit hoher Geschwindigkeit zu verringern oder die Ansprechzeit zu verkürzen.

Im folgenden wird die Arbeitsweise gemäß der Erfindung anhand von Fig. 3 beschrieben. Eingangsdaten entstehen an der Oberfläche und enthalten eine Information, die von vorhergehenden seismischen Prüfungen usw. hinsichtlich der gewünschten Richtung und des Winkels für das Bohrloch abgeleitet sind, um von der Erdoberfläche die Oberfläche der Zielformation zu erreichen. Diese Eingangsinformation dient dazu, ein Bohrstrangmodell zu bilden, das seinerseits die Eingangsdaten für ein Bohrkronengesteinswechselwirkungsmodell liefert, das vorzugsweise von Mikroprozessor und Speicher 24 gebildet wird, die unten im Loch angeordnet sind. Das Bohrkronengesteinswechselwirkungsmodell empfängt auch Eingangsdaten über die Eigenschaften der Bohrkrone, die angenommenen Eigenschaften des Gesteins und Fehlersignale von einem ersten Komperator, der die gewünschten und die gemessenen Biegemomente vergleicht, und von einem zweiten Komperator, der die tatsächlichen und die angenommenen Eigenschaften der Bohrkrone und des Gesteins vergleicht. Am zweiten Komperator liegen auch Eingangsdaten von einem dritten Komperator, der das Gewicht an der Bohrkrone unten im Loch und an der Oberfläche und Oberflächenbohrgeschwindigkeitsmessungen vergleicht. Die Ausgangsdaten des Bohrkronengesteinswechselwirkungsmodells liegen an einer Oberflächenbohrsteuerungsanzeige, um die Einstellungen des an der Bohrkrone liegenden Gewichtes und der Drehzahl des Bohrstranges anzuzeigen, die vorgenommen werden müssen, um die Bohrkrone auf ihrem Weg zu halten oder auf den gewünschten Weg zurückzuführen.

Das Bohrkronengesteinswechselwirkungsmodell nimmt die Information über die Eigenschaften der Bohrkrone, die angenommenen Eigenschaften des Gesteins und die von Bohrstrangmodell kommenden Vortriebsdaten von einem gewünschten Vortrieb, der von der seismischen Vermessung erreicht wird, auf und bestimmt ein erwartetes oder ideales Biegemoment, das mit den tatsächlichen Biegemomenten verglichen wird, die in der Nähe der Bohrkrone gemessen werden. Der Unterschied zwischen den tatsächlichen und den erwarteten oder idealen Biegemomenten dient als Fehlersignal zum Korrigieren des Bohrkronengesteinswechselwirkungsmodells und der Parametereigenschaften der Bohrkrone und des Gesteins. Diese können weiter durch Messungen der Eigenschaften des Gesteins, wie beispielsweise  $\gamma$ -Messungen, die unten im Bohrloch von einer bekannten während des Bohrvorganges arbeitenden Meßanordnung gemacht werden, und Korrekturen hinsichtlich der tatsächlichen Bohrgeschwindigkeit unten im Bohrloch korrigiert werden, um die Gesteinseigenschaften für das Bohrlochgesteinswechselwirkungsmodell zu überarbeiten. Das fragliche Verfahren korrigiert daher fortlaufend nach Maßgabe der tatsächlichen Verhältnisse in Echtzeit, wie sie angetroffen werden.

Ein Beispiel ist in Fig. 4 dargestellt. Der beabsichtigte Weg der Bohrung verläuft von A bis B. Aus irgendeinem Grunde weicht jedoch die Bohrkrone ab, was zu einer Versetzung D führt, anstatt den Punkt B zu erreichen. Das macht es notwendig, daß eine Winkelfehlerkorrektur an das Bohrgestänge gelegt wird, um die Bohrkrone

auf die beabsichtigte Bohrlinie ABC zurückzuführen.

3704077

10 00 0

Nummer:  
Int. Cl. 4:  
Anmeldetag:  
Offenlegungstag:

37 04 077  
E 21 B 44/00  
10. Februar 1987  
13. August 1987

FIG. 1

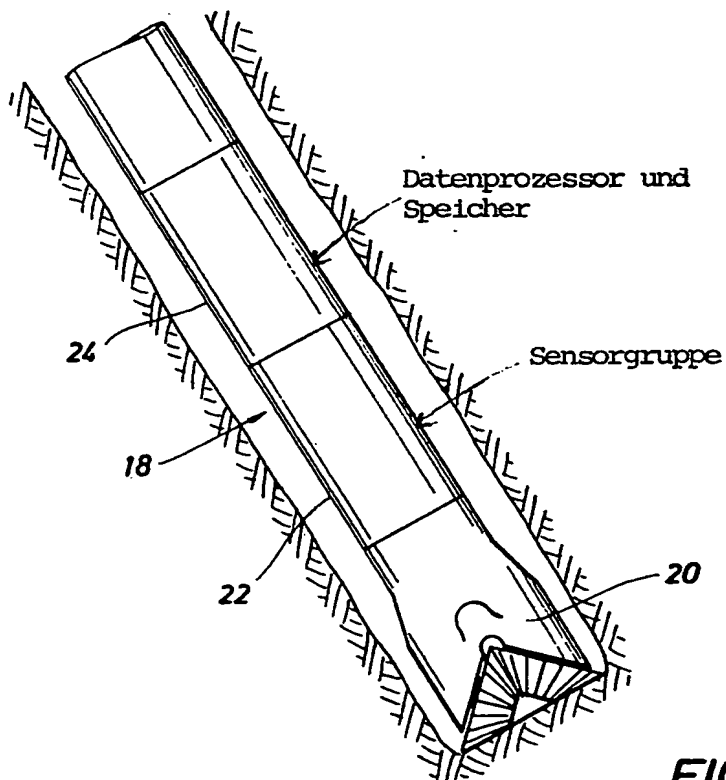
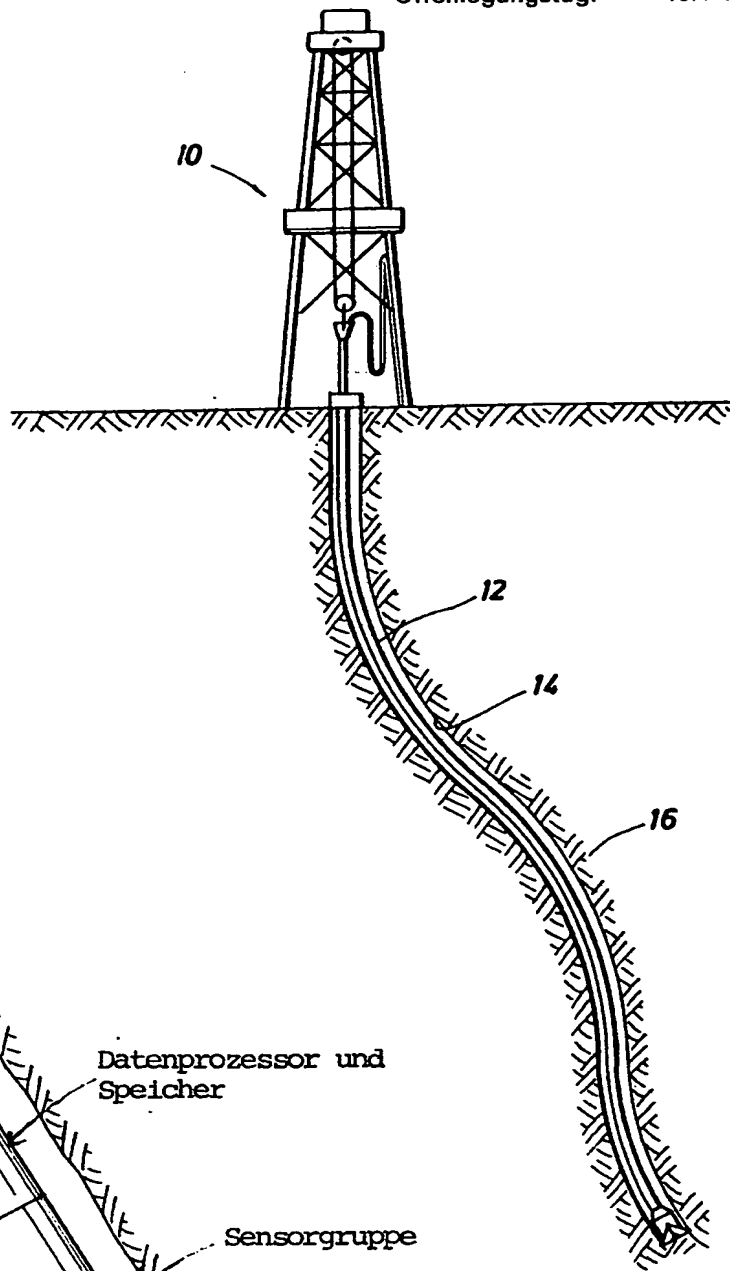


FIG. 2

3704077

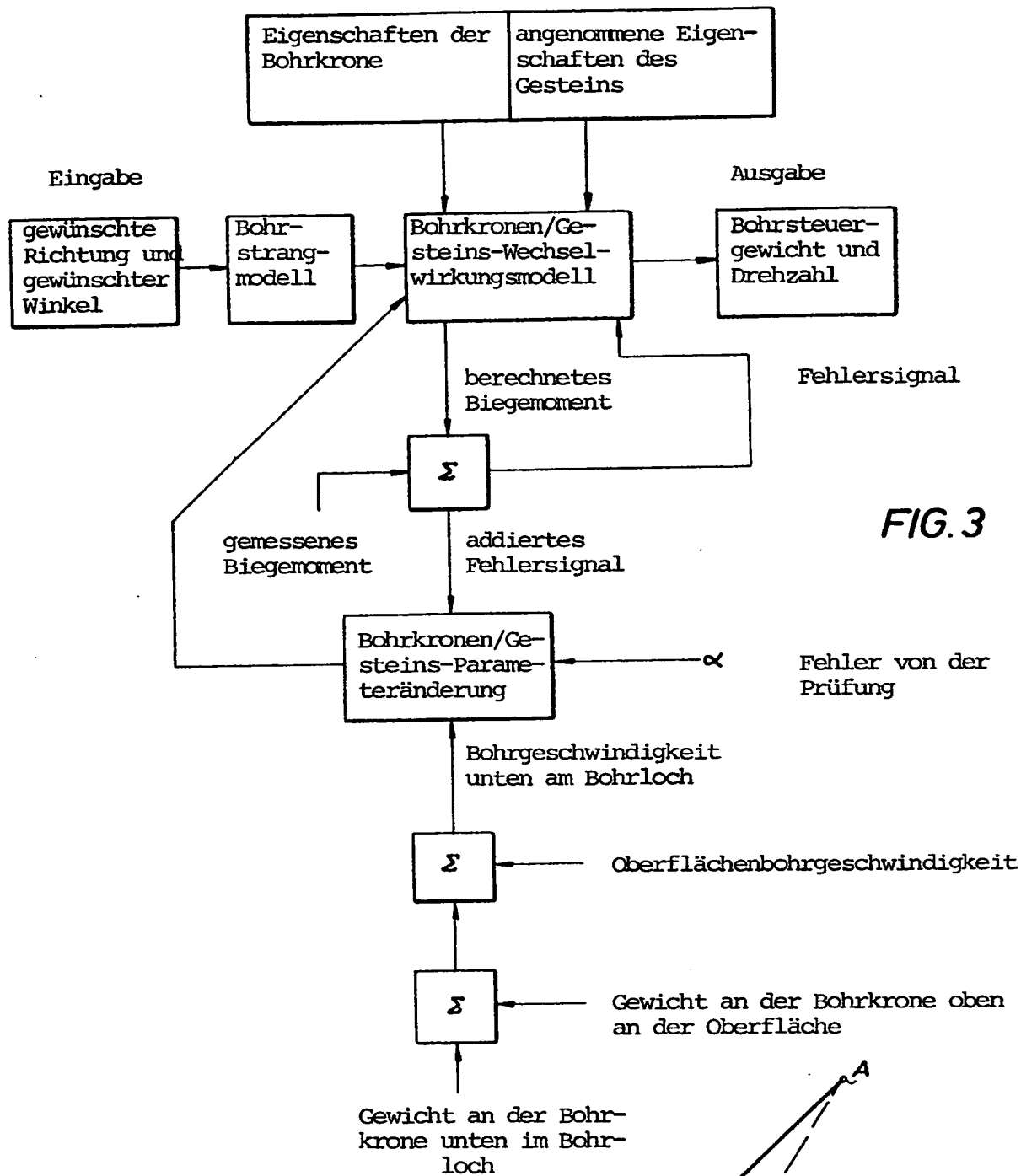


FIG. 3

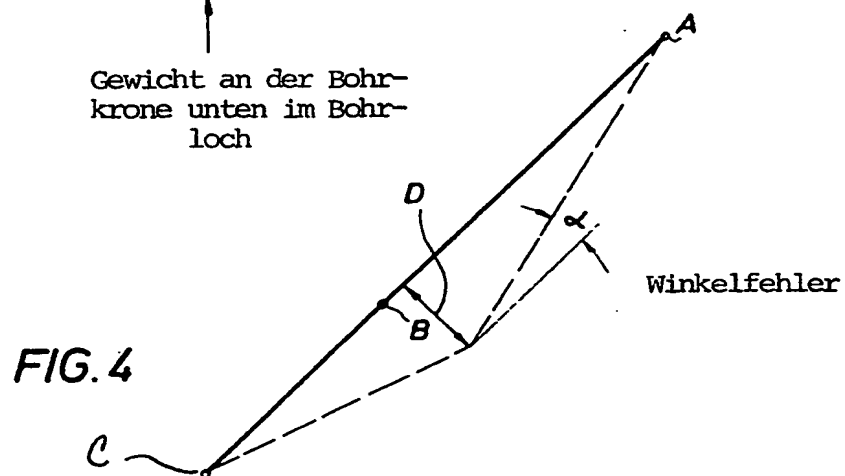


FIG. 4